

時 間 の 問 題

宮 地 政 司*

天文生活 40 年、いま公職を去って野に下るにあたり、年来興味をもっていた時間の問題のことなど書きのこして同僚の方々に捧げたい。

マイクロ・セカンド 米国海軍天文台のマルコヴッチ博士から手紙がきて、こんなことが書いてあった。去る 8 月下旬、通信衛星テルスターを利用して英米間で時計比較を行なった。成績はすこぶる良好であった。実験のやり方は、1 秒間に 10 個の符号を両国の送受信局（米の Andover, 英の Goonhilly）から送信し、これをテルスターが受信し増幅して返送したものを、さらに両送受信局で受信する。送信時刻と受信時刻との差から両方の時計のちがいが求められるし、同時に電波が行ききするのに要した伝播時間も求めることができる。時計はワシントンの米国海軍天文台と英国王立物理研究所とのもので、それらと送受信局との間は長波長電波の報時信号、またはロラン C とよばれる遠距離位置測定用電波信号によって連結されていた。

両時計のちがいはロンドンのものがワシントンのよりも 72.6 マイクロ・セカンド進んでいた。また電波の伝播時間は通信衛星の位置によってきまるが、秒速 8 キロに近い速度で飛んでいるので、測定ごとに刻々変化した。そこで軌道の計算から推算された伝播時間と実際観測した値との差は ± 1 マイクロ・セカンドの範囲までそれぞれがよく一致していた。マイクロ・セカンドは 1 秒時の 100 万分の 1 で、以後 μs と記す。送受信時刻の測定精度は、ブラウン管上で読み取った 1 測定あたり $\pm 3 \mu\text{s}$ (pe) であった。それを写真で撮影したとき、1 測定あたりの精度は $\pm 0.4 \mu\text{s}$ であったという。

ついでの間まで時計比較の精度を 1 ms (ミリ・セカンド, 1 秒時の 1,000 分の 1) にするのに懸命であった。それが近距離の国内比較ぐらいならともかく、英米の間のような遠距離になると ± 1 ms の精度でさえ容易ではない。それがいま $+1 \mu\text{s}$ にまで飛躍したのである。まったく驚くほかはない。ロラン C とか安定な長波長信号 (20 kc ~ 16 kc) の他、通信衛星の利用がこの驚くべき精度をえる手段となった。

手紙には「そこで米国海軍天文台は王立物理研究所と行なったのと同様な時計比較を東京天文台との間で行ないたい」と結んであった。もちろん大賛成である。マルコヴッチ博士はこの実験の結果、将来は $\pm 0.1 \mu\text{s}$ の精

度にまで改善することが可能と信じていると付け加えていた。実験のためには、日米の間で利用できる送受信局が必要となる。わが国では目下電波研究所の手で宇宙通信研究のため、茨城県下に直径 30 m の大パラボラ空中線を建設中であり、また国際電信電話株式会社では衛星通信用の 20 m のものを同所に設置中である。これらの協力によって時計の精密比較実験が行なえることを期待する次第である。

時間研究の現状 40 年前、国際的に初めて各国の標準時の比較が無線電信報時を利用して実施された。そのころは ± 0.01 秒までの精度がえられれば上等であった。一般に科学の進歩は測定技術の向上、測定機械の改善に負うものが多い。このごろのように各方面の科学技術の進歩の速度が速いと、連鎖反動的に加速度が加わり、それがマイクロ・セカンドの精度になったのである。

天文学的に測定される時系は 2 つある。地球の自転周期に基づく世界時と地球の公転周期に基づく暦表時とで代表される。世界時は 3 種あって、UT 0, UT 1, UT 2 の種類がある。観測からえられるものが UT 0 で、これから経度変化の影響を除いたものが UT 1 であり、さらに地球自転速度の季節変化を除いたものが UT 2 である。UT 2 の設定は日本からの申出に基づいたものである。日本標準時は (UT 2) + (9 時) である。UT 2 は地球の自転速度の変動のため、その進行は不規則変動をとまっている。しかし、天文航法、測地天文、人工衛星を始め惑星、衛星の観測にはその世界時が必要なのである。

天文学の時系の独壇場に原子時計が登場した。1955 年英国の王立物理研究所で、エッセンの作ったセシウム原子時計が運転され、他の追従をゆるさないすばらしい成果を示した。日々の安定さはその振動数が 1,000 億分の 1 の変動に止どまり、数カ月にわたり 100 億分の 1 まで安定であるというすばらしさを示している。いま原子時とよばれるものは、セシウム原子時計の振動数を 1 秒間に 9,192,631,770 回としたものである。米国海軍天文台では 1958 年以来、この値で A. 1 と呼ぶ原子時系を確立している。以来各国ともこの値によるようになった。各国の標準器の振動数は、現在この値に 100 億分の 1 まで一致している。わが国では東京天文台と電波研究所で原子標準が研究されているが、まだこの域に達していないようだ。

現在各国では標準電波が放送されている。これは標準

* 前東京天文台長
M. Miyadi: The problem of time.

周波数と分秒報時信号とが出されるものである。この分秒報は UT 2 にできるだけ合わせるものであるが、標準周波数はこれとは別に原子時計による。すなわち、年始めにその年に用いる 1 秒間の振動数を予め決定しておく。1960, 1961 年には原子時の 1 秒の振動数より 10 億分の 15 低い振動を用いた。1962, 1963 年は 10 億分の 13 低い値が使われている。

将来の問題 天文学的時系にとっての大問題の一つは原子時系との対決であろう。この問題の奥には天文学上の多数の問題がひそんでいる。いまこれを万有引力常数の変動という仮説の検討にしばって考えてみよう。±0.1 μ s まで時計比較の精度が増したことはこうした問題の断定実験を可能にするものであるからである。

一般にニュートンの万有引力の法則に出てくる比例常数、いわゆる万有引力常数は時と所の如何を問わず一定不変のものであると信じられている。ところがアインシュタインの相対性原理が現われてから、その万有引力についての理論がニュートンの法則に代ったのである。

すなわち、よく知られている 3 つの証拠が相対論の方に妥当性を与えた。第 1 の証拠は有名な水星の近日点移動で、最近クレメンスにより詳細に検討され、内惑星の質量を適当に採ることにより近日点移動の相対論的値が観測値とよく一致することが立証された。内惑星の質量は天体運動の長期摂動に関係するので、例えば惑星歳差などもその改訂された質量で計算し直す必要がある。改訂した質量の適否については、まだ然るべき研究がない。

第 2 の証拠は太陽近傍を通る光線が太陽の方に引き寄せられるという現象である。これは皆既日食時に黒い太陽の周りの星の位置がずれるもので、いわゆるアインシュタイン効果といわれるものである。これは不十分ながら皆既日食ごとに調べられ、一応相対性原理で予想される結果と一致した値がえられている。

第 3 のものは重力場においてはスペクトル線が赤い方へ移動する現象である。白色わい星や太陽でこの現象が立証されたといわれるが、信頼するに足る結果はまだ得られていないようである。数年前メスバウエルが実験室内でこの現象を立証した。

以上の問題はさらに断定実験を加える必要があるが、一応はニュートン則よりアインシュタイン則の方に凱歌が挙げたのである。しかしながら一般相対性理論による万有引力常数は一定不変な常数であることに変わりはない。したがってニュートン則に対して必要に応じてわずかの補正を加えれば十分なのである。現在広く受け入れられている万有引力理論は一般相対性理論の立場を採ったものである。

ところが他方に万有引力常数は年代とともに変化する

もの、また場所により変化するものとする学説がある。元来惑星運動そのものの観測は、精度の上でなお不十分で観測を基礎にして確立された理論とはいえ、現在のところ上記の仮説の適否を断定するすべはまだないのである。一応その諸学説をながめてみよう。

古くから有名なのはマツハの原理である。それによれば、地球が太陽の引力にひかれておるときには、同時にはるか彼方までひろがる恒星界全体の引力が太陽との相互作用として働いているというのである。そのため、地球付近での万有引力定数 G は太陽の有無によって 1 億分の 1 程度変わることになる。また一方宇宙全体は膨張しており、ある限界以上の距離より彼方はわれわれの認識の外であり、無縁の世界となるが、その限界内の物質全体は G に影響するものとなる。また太陽のように近くのものに対しては、その距離に応じて G がかわることになる。また恒星界に対する太陽系の運動する速度によっても G は変わる。

次にディラックの学説によれば、物理や天文の基礎常数はこれを原子単位で表わすと、明らかな特徴が現われる。すなわち 10 の 40 乗を単位としてその整数乗になっており、こうした性質が大自然の特性であると仮定するのである。この場合、万有引力常数の逆数と宇宙年齢とはその単位の 1 乗の数になっている。宇宙年齢は年とともに増加するのであるから、万有引力常数は年齢の逆数に比例して変わらねばならないと考えるのである。

こうした万有引力常数を変数とする考えに立脚して相対性理論を組み立てることは可能であり、その最初の理論がヨルダンによって打ち建てられ、その後いろいろな形に発展した。何れの形のものも、水星の近日点の移動量を、アインシュタインの一般相対性理論によるものに比し、その差違が数%に過ぎないところまでにすることができる。

こうした万有引力常数が年とともに変わるという考え方はいろいろな波紋を投げる。たとえば恒星のエネルギーは中心部の温度により重力圧の 4 乗ないし 7 乗に比例するという理論があるが、その重力常数が年とともに変動するか否かは恒星進化の年代に大きな差違がおこる。他の方法による推定年代との対比で、この辺の消息をさぐる手もあるわけだ。

同じような問題が地球の自転速度の永年変化量の問題にもある。永年変化量が近年の観測から推定したものと、古代の日食や掩蔽によって推定したものの間に矛盾のあることは、よく知られているところである。ムンク達の計算によると、既知のものを考慮に入れた残りは G の変動として説明できるが、他の原因によっても同様に説明できるので、何れであるかは断定できないところである。

ここで、この最も興味ある仮説、万有引力常数は時、

場所、相対速度などで変わるかという問題を観測的に実験することについて、諸家の考えをのべよう。

まず人工衛星による方法が最良とされている。同一の原子時計を2個作り、一つを人工衛星にのせ、他を地上において比較するのである。衛星の高さは超高層大気の影響の少ないところが望ましいし、バン・アレン帯の放射線の影響を考慮する必要がある。この衛星は同時に暦表時を決めるためにも利用するもので、そのため地上よりの精密観測に適するような諸装置を搭載する。最も問題になるのは超高層大気抵抗である。これを除くため本体は容器にいれ、飛行中は容器内で浮いた状態で飛ぶ

ようにし、大気抵抗は容器がくいとめ、容器の速度が落ちれば自動的にこれを加速し、本体には何らの障害を与えないようにしようという案がシュワルツシルドから出されている。

宇宙年齢を10の10乗年とすれば、必要な測定量は1年の経過の前後で100億分の1の変化であろう。その他相対性原理からくる諸量も大体同様な量が検出できれば判る。このためには測定精度は10の11乗分の1までほしい。±0.1マイクロ・セカンドまでの比較精度はこの意味で重要なのである。

1963年7月21日の

皆既日食観測計画

齊藤 国治*

今回の皆既日食は日出時に北海道中部において始まるという、日本国内で経験する皆既日食としては異例の天文現象となる。日食の一般状況(予報計算)についてはすでに天文月報54巻6月号(1961)に、青木氏の記事が載っているから参考にされたい。

わが国の観測陣については、すでに昨年中に日本学術会議日食研究連絡委員会がまとめを行ない、各研究機関の観測計画も現在形をととのえたようである。観測陣の主力は北海道に出張し、一部別働隊がアラスカに遠征す

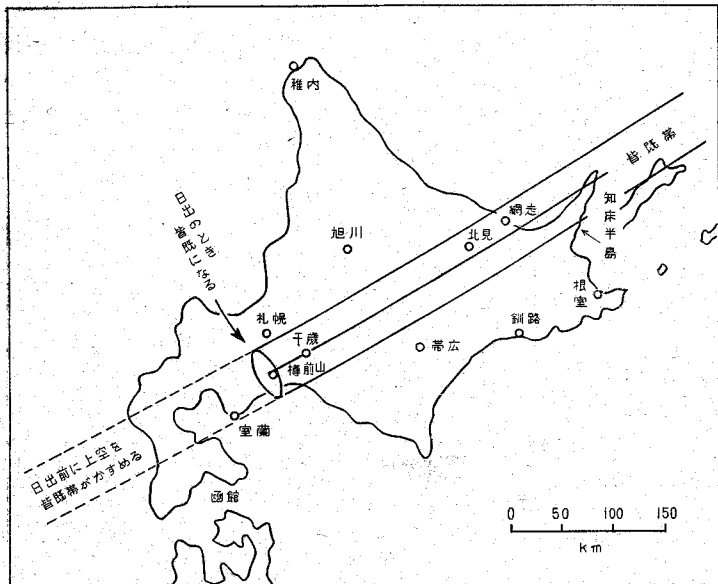
る。また飛行機上よりの観測も計画されている。

国内で皆既日食の見られたのは、過去にさかのぼると1943年2月5日の朝、北海道を北西から南東へかけておこった日食が最後のものとなっている。その後、1948年5月9日北海道礼文島の金環皆既食、1958年4月19日種子島・八丈島を通る金環食があったけれども、コロナや彩層の研究という日食の物理的観測には向かなかつた。今回の日食は、今世紀中に日本国内で見られる皆既日食の最後のものであって、将来日本国内で見られる中心食をひろえば、1987年沖縄で金環食、2009年奄美大島で皆既日食が起ることになっている。いずれにしてもここ当分の間、国内での中心食はないのだから、専門家とアマチュアとを問わず、どしどし現地に出かけて観測や観察をすることをおすすめする。もっとも、北海道での観測は、後述するごとく太陽高度がひくくて、天文観測には基だ条件がわるいことは事実である。

以下に紹介するところは、日食委員会に連絡のあった研究機関の観測計画の概要であり、実施にあたっては今後多少の変更や追加があるかもしれない。

東京天文台

(i) 測光部(古畑正秋氏ら3名)では、太陽近傍の黄道光を観測することを主眼として、皆既の太陽が地平線



第1図 北海道における地上日食の食帯を示している。皆既継続時間は中心線上でも高々30秒である。

* 東京天文台
K. Saito: Observing programs for 1963 July eclipse.